

Les consolidations mécaniques



Un plomb, un verre, une peinture sont jugés fragiles, au point de devoir être consolidés, lorsqu'ils se désolidarisent du vitrail, et que la perte de tout ou d'une partie de ces matériaux, ou des matériaux les entourant, est effective ou imminente.

Ainsi des plombs déformés, rompus, peuvent non seulement disparaître eux-mêmes, mais aussi entraîner la fracture et la perte des verres qu'ils sertissent.
Les fragments de pièces brisées peuvent se déchausser jusqu'à tomber, et les tranches des verres se dégrader progressivement par usure.

1. Les consolidations mécaniques de vitraux de musée, ou de baies monumentales très accessibles (en général baies basses) et protégées par double-verrière.



► Les plombs

Le restaurateur admet que les vitraux puissent conserver une fragilité mécanique. Si les déformations des résilles de plombs ne sont pas trop importantes, il n'y a pas de dessertissage, mais de simples reprises de soudures, pose de renforts périphériques ou de vergettes supplémentaires.

Sertissage d'un panneau en cours de restauration; soudure.

► Les verres

Les **casses des verres**, si elles sont peu nombreuses, peuvent être traitées par infiltration d'un adhésif. Les verres brisés mais bien jointifs peuvent être laissés en l'état. L'intervention de consolidation mécanique est donc réellement réduite au minimum.

Lorsque les casses sont nombreuses et que l'on souhaite supprimer des plombs de casse, on procède alors à un **dessertissage des verres**, partiel ou total, à condition que les résilles de plombs ne présentent pas d'intérêt particulier (ancienneté par exemple) et qu'elles aient été au préalable bien documentées.

Les pratiques communément appelées « **dépiquages et repiquages** », qui consistent à extraire des verres de la plombure (pour les coller par exemple) en ouvrant les ailes de plombs, et à les replacer par l'opération inverse, sont, si possible, à éviter. Les risques de casse sont en effet importants, comme ceux de rayures et d'ébréchures des bords, consécutives à l'utilisation d'outils métalliques lors de l'extraction.

L'**adhésif** communément utilisé pour les collages est une résine époxydique à deux composants, dont l'indice de réfraction très proche de celui du verre, présente l'avantage de rendre les collages très discrets, voire invisibles.

Les joints de colle peuvent être aisément retouchés par des peintures à froid : les performances esthétiques de cette résine sont par conséquent excellentes.

On lui reconnaît cependant d'importants inconvénients : une mise en œuvre délicate, dont les moindres écarts affectent la qualité du joint, une sensibilité aux conditions de conservation en extérieur (jaunissement, rupture des collages), et une dureté après polymérisation très, et parfois trop, importante, comparée à celle du verre.

Son utilisation pour le collage des verres de vitraux destinés à être replacés in situ est donc réservée à des verrières protégées par un doublage extérieur, et dont la hauteur permet une surveillance efficace et une réintervention facile.

Son emploi est donc fortement déconseillé dans la consolidation des fenêtres basses non protégées et des fenêtres hautes, même si elles sont protégées, surtout si la pose du doublage se fait par empilement, car il faut démonter le panneau de doublage pour accéder au vitrail original.

Lorsque le restaurateur, en ôtant les plombs de casse, constate que les verres ont été grugés, il peut poursuivre son travail avec l'époxy en réalisant des comblements à la forme exacte des lacunes, ceci en aménageant des petits moules en cire servant à recueillir la résine. Dans la mesure où les espaces lacunaires le permettent, de petites pièces de verres sont coupées à la taille des lacunes et assemblées par collage. La **technique du tiffany** (rubans de cuivre soudés) peut également être utilisée.



Tiffany avant soudure. Fragments avant soudure, placés dans un panneau en cours de sertissage.

► Les peintures

Si l'état de fragilité de la peinture permet les manipulations courantes des vitraux (déplacement, retournement, mise à la verticale, manipulation de chaque pièce de verre) et le déroulement des différentes étapes de la restauration (nettoyage, collage...) sans provoquer la perte de la couche picturale, aucune consolidation particulière ne sera réalisée. L'action préventive et protectrice de la double-verrière est considérée comme suffisante pour stabiliser les phénomènes de dégradation. Dans des cas dramatiques, on envisagera un refixage.

► Les plombs

Si la verrière restaurée reprend sa place in situ sans protection, **les résilles doivent être solides et sans défaut de planéité majeur**. Cela suppose la révision de l'ensemble des panneaux de la verrière, sans pour autant aboutir au dessertissage de chaque élément.

Le constat d'état dicte les interventions nécessaires : ressertissage total, partiel, reprise des plombs d'entourage, soudures de consolidation etc., ou absence d'intervention. L'ancienne pratique, qui consistait à remastiquer aux deux faces les vitraux non démontés pour rigidifier les résilles et améliorer l'étanchéité, est aujourd'hui proscrite en raison de la nocivité du mastic sur les verres et peintures.

2. Les consolidations mécaniques des verrières conservées in situ (autres que des verrières basses protégées par doublages).



Pose d'un ruban tiffany sur la tranche du verre.

► Les verres

Les collages époxy sont donc à éviter soigneusement. Pour réparer les casses ou supprimer les plombs de casse afin de les remplacer par des collages, on préfère avoir recours à un **adhésif souple (supportant les pressions du vent) et insensible à l'humidité**.

La colle silicone répond à ces exigences. Elle est utilisée depuis une trentaine d'années de manière très régulière. Elle satisfait parfaitement aux besoins mécaniques, mais ne présente pas les avantages esthétiques de l'époxy. Elle est translucide (mais existe aussi colorée en rouge ou en noir), et de texture pâteuse. Les possibilités de retouche de cet adhésif sont pour l'instant limitées, mais des recherches actuelles s'appliquent à sélectionner des colorants compatibles.

Les lacunes générées par la suppression de plombs de casse quand les verres ont été grugés ne peuvent être comblées aussi joliment qu'avec l'époxy. Cependant on applique la même démarche : lorsque l'espace devient large (supérieur à 2 mm), on préférera intégrer une pièce de verre se raccordant en ton et en valeur, plutôt que de charger l'interstice en colle.

Les verres très fragmentés sont parfois doublés à la pièce, mais cette pratique tend à disparaître car les risques dus au confinement sont importants.

Lorsque l'épaisseur du verre est faible, ou que les différences de niveaux ne permettent pas d'espérer une quelconque planéité, le restaurateur choisira d'utiliser, à la place du collage, de **minces rubans de cuivre soudés à l'étain qu'on appelle tiffanies**. Au moins aussi solides qu'un joint de colle, ces tiffanies constituent un compromis entre le plomb de casse (ils sont plus fins) et le collage.

Des plombs de casse peuvent être maintenus dans certains cas, en particulier quand la différenciation entre deux pièces d'époques différentes est souhaitable. De façon générale, on ne redonne une cohérence à un verre en remplaçant tous ses plombs de casse par collage que lorsque les fragments ont été identifiés de même origine par la critique d'authenticité. Des tiffanies peuvent également remplacer l'usage des plombs, et alléger la lecture du réseau.



Collage par résine époxy d'une pièce fragmentée, état avant retouches.

Le diagnostic



Divers phénomènes peuvent être à l'origine de l'altération des vitraux. Le diagnostic s'engage à déterminer ceux qui s'avèrent responsables des dégradations constatées.



Opacification du verre. Baie 101, cathédrale Notre-Dame de Chartres.



Pulvérencence de grissaille. Baie 101, cathédrale Notre-Dame de Chartres.

Les facteurs d'altération

Les matériaux constitutifs d'un vitrail subissent inéluctablement l'action du temps qui les fragilise. Ce vieillissement naturel dépend de l'environnement auquel les vitraux sont soumis et de leur résistance aux facteurs d'agression extérieurs.

Les conditions atmosphériques sont déterminantes dans le déclenchement des phénomènes d'altérations physico-chimiques qui agissent sur les faces internes et externes des verrières. **Le vent, la grêle, le gel, la condensation, les chocs thermiques**, provoquent d'importantes dégradations, qui sont aggravées par de nombreux facteurs humains, **pollution, vandalisme, usages, restaurations**.

Le brunissement des verres peut résulter également d'autres phénomènes :

- Lors de la fabrication des verres, du manganèse a souvent été introduit, soit pour les rendre plus clairs (les impuretés métalliques transmettent naturellement une teinte verdâtre au verre), soit, au contraire, pour leur donner une coloration rose-violette. Sous l'effet de facteurs mal connus, le manganèse migre dans les micro-fissures de la zone de silice hydratée et s'oxyde au contact de l'oxygène de l'air. Lorsqu'il est oxydé, il prend une coloration brune qui obscurcit le verre, et qui peut aller jusqu'à lui faire perdre toute transparence.

- L'action de l'humidité favorise la prolifération de micro-organismes, tels que des algues, des lichens, des champignons, que l'on peut trouver sur les deux faces d'un panneau. Ces micro-organismes ont un rôle dans la précipitation des phases secondaires (60 % des carbonates sont d'origine organique) de l'altération des verres, ainsi que dans les phénomènes de brunissement de certains verres.

- Des sels, ne provenant pas forcément du verre dégradé, mais dérivant d'éléments extérieurs, se déposent constamment à la surface des verres, et contribuent à les assombrir : des particules de charbon (suie), des poussières, des oxydes de fer (rouille, apportée par l'oxydation des ferrures).

- Des mastics traditionnels, autrefois appliqués sur les deux faces des vitraux lors des restaurations, laissent en surface un film gras, dû à l'huile siccativante, susceptible de se transformer en carbonates, à cause de la chaux du blanc de Meudon ou du blanc d'Espagne. Les dépôts formés sont d'épaisseur et de composition variables, ils sont hygroscopiques et néfastes au verre et à la grissaille.

Les verres

Il existe **différentes natures de verres**, dont les éléments formateurs (silice, phosphore, aluminium) et modificateurs (alcalins : potassium, sodium, et alcalino-terreux : calcium, magnésium), employés dans des proportions variables (surtout avant l'ère industrielle), influent sur leur durabilité (vulnérabilité à certains agents, vitesse de corrosion). D'autres éléments, introduits en cours de fabrication (oxydes métalliques pour la coloration des verres, impuretés) ont une incidence sur les processus d'altération.

La plupart des verres du moyen âge, par exemple, contiennent une trop grande proportion de potasse, ce qui les rend très sensibles à l'action de l'eau.

Leur altération est considérable, notamment en face externe. Comparativement, **les verres de couleur bleue, plutôt sodiques, sont bien conservés.**

À partir du XVI^e siècle, les verres, plus riches en sodium et en silicium, sont également moins réactifs en présence d'eau.

La corrosion se développe surtout en face externe, celle-ci étant la plus exposée aux agents atmosphériques et aux variations d'humidité.

Le démarrage du processus de corrosion est induit par la présence d'eau, qui provoque l'extraction des éléments modificateurs du réseau siliceux, et leur remplacement par des ions hydrogènes et des molécules d'eau. **Se forme alors une couche de gel de silice superficielle**, qui est une couche de verre appauvri hydraté. Ce processus d'altération au cours duquel le verre est dépourvu de certains de ses composants s'appelle **la lixiviation**. Les réactions chimiques se poursuivent dans un premier temps sous l'action de cette couche de gel, puis s'accroissent sous l'effet des gaz polluants atmosphériques. **La corrosion peut aller jusqu'à la dévitrification totale, c'est-à-dire la perte de cohésion mécanique et de transparence: le verre redevient en quelque sorte du sable.**

Les produits issus de la transformation du verre s'amalgament en surface ou précipitent pour devenir des sels. Certains de ces produits de corrosion sont lessivés par l'eau. D'autres, insolubles, restent accrochés à la surface des verres et forment des couches minérales plus ou moins épaisses (sulfates, silicates).

Physiquement, l'altération amorcée à la surface du verre se manifeste par des petites piqûres qui s'élargissent pour devenir des cratères.

La présence de produits de corrosion se traduit par la perte progressive de la translucidité du verre.

Corrosion d'un verre plaqué rouge, perte du placage. Église Saint-Germain-l'Auxerois, Paris



Corrosion des verres autour de la grisaille et sur la grisaille. Baie 119, église Saint-Germain-l'Auxerois, Paris



Corrosion des verres en face externe. Baie 101, cathédrale Notre-Dame de Chartres.

Les grisailles

Leur altération peut se présenter sous différentes formes que sont la pulvérisation ou l'écaillage, dus à la formation de micro-fissures.

Les altérations du verre et des grisailles sont intimement liées. Ceci concerne notamment les verres

à faible durabilité chimique comme les verres potassiques. Dans ce cas la corrosion du verre se propage sous la grisaille, et seule une grisaille bien vitrifiée et cuite à une température élevée protège le verre en constituant une zone imperméable.

La grisaille est une matière poreuse à l'intérieur de laquelle peuvent s'infiltrer des sels qui sont souvent à l'origine de sa dégradation. **Ces sels sont surtout d'origine atmosphérique** (sels de soufre), **mais peuvent aussi avoir été déposés au cours des restaurations** (nettoyages chimiques mal rincés, recoussin de pièces de verre).

De sérieux problèmes d'adhérence des grisailles et des émaux affectent les vitraux du XIX^e siècle. Ils proviennent souvent d'une mauvaise composition lors de la fabrication, de mélanges inappropriés (trop de gomme, ajout de borax), ou d'une cuisson inadaptée.

Les plombs

L'altération des plombs est plutôt d'ordre physique avec des déformations ou des ruptures. Leur tenue physique dépend inévitablement de la tenue physique des verres qu'ils enserrant.

Il se forme toujours naturellement une couche d'oxydation très fine à la surface du plomb (passivation).

Cette couche préserve le plomb des attaques extérieures. Néanmoins, au contact des polluants soufrés, le plomb s'altère davantage, ce qui se traduit par un blanchissement ou un noircissement de surface.

Les plombs sont généralement recouverts, comme les verres, de dépôts et de poussières diverses (suies, badigeons de chaux).

Les serrureries

Les serrureries qui supportent et fixent les panneaux d'un vitrail dans une fenêtre subissent elles aussi des dégradations liées à l'environnement. **De leur état de conservation dépend celui de l'ensemble des vitraux.** Ainsi la corrosion de certaines parties métalliques peut entraîner l'éclatement de verres (mais aussi de la pierre). Leur mauvaise tenue physique peut entraîner la chute de pièces ou le détachement de panneaux sous l'effet de la pression du vent.

Le diagnostic est le moment où l'on essaie de comprendre ce qui est dégradé et ce qui a provoqué la détérioration de l'objet matériel. Trouver les causes et les circonstances de la transformation des matériaux constitutifs permet ensuite d'envisager les moyens d'y remédier, c'est-à-dire de faire en sorte que les phénomènes ne se poursuivent pas, ni ne se reproduisent pas.



Les études préalables



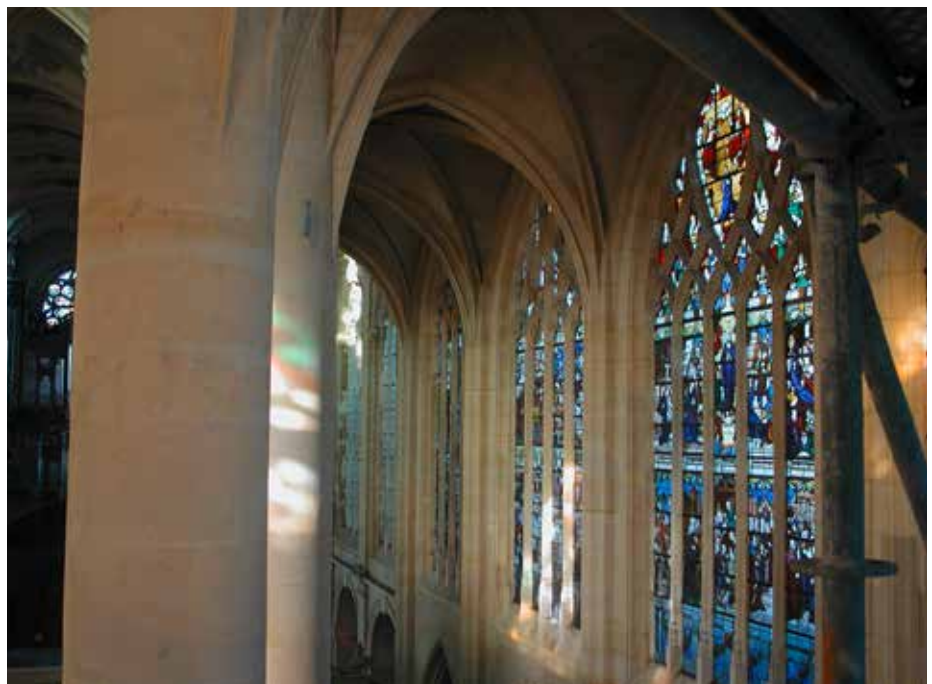
Les études préalables permettent de **définir les démarches de conservation et de restauration** nécessaires à la sauvegarde d'une collection ou d'une œuvre: opérations d'entretien, de restauration, de conservation préventive, de mise en valeur, ou d'études complémentaires.

Elles prévoient un ordre logique d'exécution qui aide l'administration à **élaborer des programmes de travaux et des budgets de financement**. En précisant les champs d'application, et par conséquent la complexité des protocoles d'intervention, elles préparent les futurs intervenants aux difficultés inhérentes à la réalisation des travaux.

Dans le cadre des œuvres monumentales, les études préalables comprennent:

- ▶ l'identification de l'œuvre ou de la collection
- ▶ l'évaluation de la salubrité et de la sécurité de l'environnement in situ
- ▶ l'appréciation de l'état de conservation des matériaux constitutifs
- ▶ la définition des interventions et des conditions indispensables à la conservation
- ▶ l'estimation des engagements financiers relatifs aux démarches de conservation (études spécifiques, restauration, restauration préventive).

*Vue générale des verrières
du chœur en cours d'étude
préliminaire. Église
Saint-Étienne-du-Mont, Paris.*



Étude préliminaire *in situ*

Une étude préliminaire s'attache surtout à établir un diagnostic de **l'état physique de l'ensemble vitré**, afin de définir et de hiérarchiser les priorités d'intervention en rapport avec l'état de conservation de chaque vitrail. Ce type d'approche permet d'organiser de façon rationnelle un calendrier des opérations de restauration en fonction des urgences constatées, et de donner un **premier ordre de grandeur des dépenses à engager**.

Sur place, le vitrail est observé au moyen de jumelles ou d'une longue-vue, associées à une échelle ou à une nacelle selon l'éloignement des fenêtres et les besoins de l'auteur de l'étude.



Exemple de signes gravés sur la face externe d'un verre. Baie 119, église Saint-Germain-L'Auxerrois, Paris

Étude préalable *in situ* d'un petit groupe de verrières ou d'une seule verrière

C'est une **étude approfondie d'un ou de plusieurs vitraux**. Chaque élément constitutif du ou des vitraux est observé méthodiquement, à la fois comme une entité et un élément constitutif du tout.

On examine tour à tour chaque zone de peinture, chaque verre, chaque section de plomb, chaque soudure, chaque dépôt, chaque élément de serrurerie, chaque portion de solin et ce sur une face, puis sur l'autre. On observe chacun de ces éléments en corrélation avec ses voisins.

La **comparaison des verres, des plombs, des peintures** permet de mettre en évidence des différences ou des similitudes d'origines (même époque de création, même atelier de création, même peintre parfois), des qualités de matériaux, de leur sensibilité aux facteurs externes de dégradation et aux conditions de conservation (selon l'orientation, l'enclavement...).

On obtient de cette manière des **séries d'informations destinées à caractériser le plus précisément possible chaque vitrail** : date de création et authenticité des parties, particularités artistiques et techniques, bouleversements historiques subis au cours des siècles, dégradations et agressions d'origines diverses qui l'affaiblissent.

Les **dispositifs d'approche** utilisables sont la jumelle ou la longue-vue, associées à une échelle (pour les fenêtres basses et de petite taille), à une nacelle, ou à un échafaudage couvrant les parties majeures ou toute la superficie du vitrail. C'est l'auteur de l'étude qui détermine le matériel qu'il estime être indispensable au bon déroulement de son étude.



Étude préalable en atelier d'une verrière panneau par panneau

Ce type d'étude est réservé à des **vitraux dont la restauration est d'ores et déjà jugée nécessaire** (état d'urgence ou bilan d'une étude préliminaire). **Les vitraux sont déposés et transportés en atelier**, où les panneaux sont manipulables, donc observables de différentes manières. Ainsi, les investigations peuvent être très approfondies. Il est possible de faire varier la distance d'observation, la disposition (à plat sur une table lumineuse ou à la verticale sur un portoir), les conditions d'éclairage (lumières transmises, réfléchies, rasantes, naturelle ou artificielle, UV), et de les examiner à l'unité ou par ensemble de panneaux. On peut également avoir recours à des instruments d'optiques (loupes grossissantes, loupes binoculaires, microscopes), qui permettent un examen poussé des surfaces.

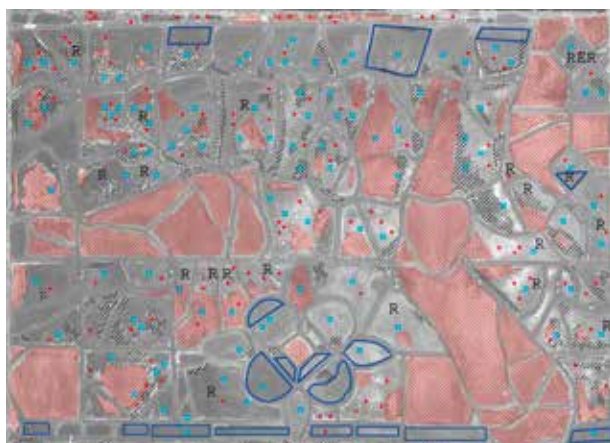
Les facilités d'examen et de manipulation favorisent d'autre part la mise en place de **procédures d'analyses scientifiques** (prélèvements de particules), dont les résultats, fournis par des laboratoires spécialisés (L.R.M.H., C2RMF), permettent l'identification des



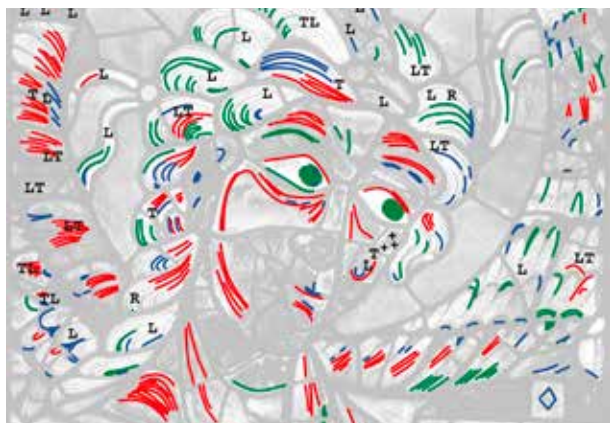
Réalisation de relevés graphiques en atelier.

composants des verres, peintures, dépôts, ou produits de corrosion, et facilitent la compréhension de la morphologie de certaines altérations, ou encore le contrôle de l'innocuité des traitements.

Étude expérimentale en atelier



Relevé graphique des corrosions en face externe, étude 2003 de la baie 101, cathédrale Notre-Dame de Chartres.



Localisation des altérations de peinture visibles. Chaque couleur correspond à un type d'altération. Baie 101, cathédrale Notre-Dame de Chartres.

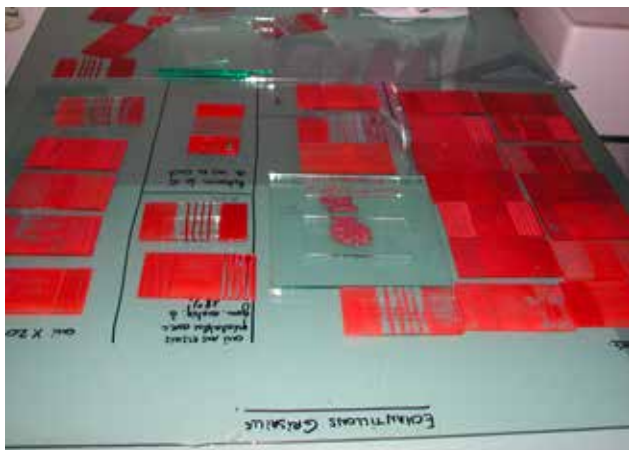
L'objectif est de **développer la compréhension de certaines techniques verrières** ou de certains phénomènes d'altération, et de **préparer certaines étapes de la restauration**. Elle est réalisée en atelier, sur panneaux déposés.

L'étude expérimentale s'intéresse le plus souvent aux verres et aux peintures. Le restaurateur peut préciser, par exemple, la coloration d'une baie en joignant au dossier d'étude un échantillonnage des tons des verres utilisés. Celui-ci est réalisé à partir de verres de fabrication moderne, les plus proches en couleur et, si possible, en épaisseur et en texture, des verres originaux. Même si les productions modernes sont généralement décevantes, cette recherche permet de proposer une gamme de références, utilisable en cas de traitements de lacunes, et comparable à celles éventuellement réalisées lors de l'étude d'autres verrières. L'analyse des verres en laboratoire peut fournir un précieux complément à l'élaboration de ce « catalogue » artistique et technique.

C'est dans le même esprit que le restaurateur s'intéresse aux peintures. Les observations menées au cours de l'étude préalable **lui permettent de sélectionner une palette de produits modernes adaptés à la reproduction des couleurs, textures et opacités des modèles originaux.**

L'étude peut également préparer une campagne de restauration complexe. Elle concerne alors une sélection de panneaux représentatifs de l'ensemble des pathologies d'une verrière, ou la totalité des panneaux d'une verrière.





Étude expérimentale, réalisation d'éprouvettes-test, reproduisant des altérations de grisailles.

Lorsque l'étude expérimentale aboutit à la restauration de tout ou d'une partie d'une fenêtre, on parle alors de « **restauration-étude** » ou de « **prototype de restauration** ». On a généralement recours à cette démarche lors de la préparation de la restauration d'une collection de verrières présentant un problème de conservation particulier qui nécessite une expérimentation à échelle monumentale. Le restaurateur expérimente, développe et applique sur une verrière déposée une méthodologie qui sera reprise pour le traitement de l'ensemble de la collection. Dans le cadre d'un appel d'offres, l'étude expérimentale peut servir de base à l'élaboration d'un cahier des charges très précis, car les besoins et les difficultés du chantier ont été appréhendés et évalués « en grandeur réelle ».

► Absence d'étude préalable : diagnostic minimum avant intervention

Il arrive très souvent qu'aucune étude ne soit menée pour préparer la restauration d'un vitrail. Seul un devis estimatif, établi d'après des observations rapides in situ, sert de base à l'élaboration d'un cahier des charges de restauration. Celui-ci énonce une liste d'opérations traditionnellement réalisées dans le cadre d'une restauration, souvent sans rapport avec les besoins réels des œuvres. Une évaluation quantitative par poste, généralement erronée, doit servir de base aux offres des entreprises désirant soumissionner pour la restauration.

Pour répondre, le restaurateur devra évaluer lui-même l'ampleur et la nature des dégradations, anticiper sur les partis pris de restauration, et tenter d'adapter son offre à la trame proposée dans le dossier. Il paraît évident que, même pour dresser ce bilan sommaire, le restaurateur doit avoir la possibilité d'approcher les panneaux de vitraux. Or, ce n'est pas toujours le cas.

En l'absence d'étude, après attribution du marché de restauration, **l'ampleur et la gravité réelles des altérations sont découvertes en cours de traitement**, ce qui implique des surcoûts notoire.

Par conséquent, l'établissement, ne serait-ce que d'une étude préliminaire, est indispensable à l'élaboration de tout projet de restauration, faute de quoi les œuvres seront traitées hâtivement, sans le soin qu'elles méritent.



Les systèmes de protection



La **protection des vitraux contre les facteurs humains et naturels de dégradation** est un sujet de réflexion contemporain majeur, quoique déjà appréhendé avec beaucoup de bon sens par nos aïeux. En effet, on peut considérer que les systèmes actuels perfectionnent les « prototypes » mis en place en France et à l'étranger depuis le XIX^e siècle.

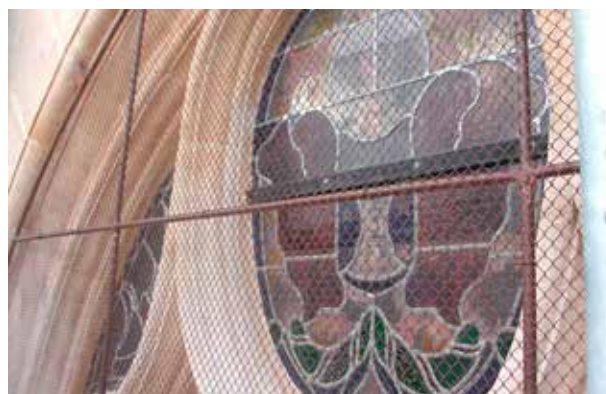
Le grillage de protection

Un grillage de protection est un treillis métallique, tendu dans un châssis adapté à la forme et aux dimensions de la fenêtre. Fixé dans la maçonnerie à l'extérieur du vitrail, le grillage de protection constitue un écran contre les chocs physiques dus aux projectiles en tout genre (grêlons, pierres). Il a également le mérite d'empêcher l'occupation des réseaux de pierre par les oiseaux dont les déchets (plumes, brindilles, déjections) contribuent fortement à altérer les vitraux.

Ce procédé, dont certains exemples conservés semblent relativement anciens, a connu une **période de gloire après la Première Guerre mondiale**, une fois que le constat des détériorations eut laissé sa place aux initiatives de prévention. La simplicité de mise en œuvre des grillages, comme l'évidence de leur action, en font encore aujourd'hui le système de protection le plus répandu en France.

Le grillage reste néanmoins une solution de protection incomplète, à cause de son inefficacité vis-à-vis des autres sources de dégradation des vitraux que sont la pression du vent, les chocs thermiques, les pollutions atmosphériques, la stagnation d'eau, les phénomènes de condensation, les contaminations biologiques.

Ainsi, depuis une quarantaine d'années, des solutions de protection plus élaborées, dérivées du procédé de double-vitrage domestique, ont été mises au point.



Grillage de protection extérieur. Église Saint-Eustache, Paris.

La protection par doublage

Le doublage est composé d'un matériau plein, en verre ou en plastique, transparent ou translucide, qui, au moyen d'un châssis métallique, est fixé à la maçonnerie du côté extérieur du vitrail, sur tout ou partie de sa surface (double-verrière de protection ou doublage partiel).

La protection par doublage résout les défaillances techniques du grillage de protection, puisqu'**elle agit aussi bien sur les sources de dégradation physique que sur les sources de dégradation chimique du vitrail** (notamment les nuisances dues à la présence d'eau). Le système répercute son action isolante sur les deux faces du vitrail, non seulement sur l'ensemble des éléments constitutifs du vitrail (le verre, les peintures, les plombs, la serrurerie), mais aussi sur les traitements de restauration appliqués, sensibles à l'eau et aux chocs thermiques (adhésifs ou produits de retouches picturales).

Les systèmes mis en place depuis une vingtaine d'années sont nombreux. **les matériaux disponibles pour réaliser les panneaux de clôture ont différentes natures (verres antiques, verres industriels, verres organiques) et diverses spécificités (verres colorés, anti-effraction, antireflet, isolants, économiques).**

Leur mode de mise en œuvre est aussi varié. Ils peuvent être utilisés en grand volume, couvrant la surface totale des baies de dimensions modestes (2 à 3 m² maximum). D'autres conceptions reprennent l'organisation modulaire du vitrail, les panneaux de protection respectant le format des panneaux du vitrail. Il peut s'agir également d'une copie simplifiée du vitrail. Ces panneaux sont alors réalisés en verre antique ou en verre industriel simple, découpés et sertis suivant les grandes lignes des panneaux du vitrail.



Doublage de protection par verre thermoformé à l’empreinte du verre ancien. Cathédrale Notre-Dame de Chartres.



Doublages des vitraux par simple fenêtre. Château de Chantilly, galerie de Psyché.

Le choix du système est établi par le maître d’ouvrage en fonction des impératifs techniques et déontologiques. Même si quelques points du cahier des charges du système de protection par doublage restent à préciser (des études scientifiques européennes sont en cours), les différents types de protection déjà existants respectent des impératifs élémentaires :



Doublage par mise en plomb de verre transparent à la forme du vitrail ancien.

► **La protection par doublage doit assurer une isolation thermique stable.** L’étanchéité de la verrière de protection est à considérer, tant au moment de sa mise en place que dans sa durée. La clôture de protection doit résister aux conditions d’exposition (climat, pollution) et d’utilisation (résistance mécanique et physique), qui dégradent les vitraux. Ainsi une attention particulière est à porter aux jointoiments des différentes parties de la protection (verres/réseaux de plombs, panneaux/maçonnerie, panneaux/serrurerie) et à la pérennité des matériaux employés (résistance des verres aux chocs et aux contraintes mécaniques; vieillissement des verres organiques).

► **Le système de protection doit pouvoir être aisément maintenu en bon état,** et sa présence ne doit pas faire obstacle à la maintenance des vitraux (contrôle des polymères de restauration notamment, restaurations ultérieures, dépose d’urgence). Le système de pose de l’ensemble protection/vitrail doit laisser une **possibilité d’accès aux vitraux** la plus simple possible.

► **Il faut également tenir compte de l’impact esthétique de la protection par doublage** au regard du vitrail et de l’architecture. La perception du système est double : sa présence, selon ses matériaux de fabrication, peut être visible depuis l’intérieur de l’édifice, par transparence, ou parce qu’elle réduit la pénétration de la lumière. Il peut être aperçu aussi depuis l’extérieur du bâtiment, à cause du miroitement des matériaux, ou encore parce qu’il produit une rupture dans la lecture des volumes architecturaux.

► **Pour éviter le miroitement des verres depuis l’extérieur,** ceux-ci sont souvent dépolis, mais ce traitement engendre une perte de transparence des verres qui a pour corollaire la perte de visibilité et de lisibilité de la face externe du vitrail (présence de peinture, de corrosion, de déformation), et une réduction de la luminosité en face interne (assourdissement des contrastes).

► **Les coûts de fabrication et de mise en œuvre** restent un facteur déterminant pour la mise en place d’un système de protection par doublage, car les dépenses nécessaires à sa mise en place augmentent celles de la restauration. Malgré cet inconvénient, ce procédé de conservation, en retardant les processus de dégradation des matériaux, permet aussi de retarder une intervention lourde de restauration nécessitant une dépose.

Le recours de plus en plus fréquent à la protection par double-verrière est un progrès immense sur le plan de la conservation préventive : l’action des facteurs dégradants s’en trouve considérablement ralentie. Il ne faut pour autant pas penser qu’une fois les vitraux doublés, la mission de conservation est accomplie. La mise en place de double-verrière devrait systématiquement être accompagnée d’un **plan de maintenance sur le site.**

Il est en effet indispensable de contrôler régulièrement l’étanchéité à l’eau et à l’air du doublage, de vérifier l’efficacité du système de ventilation, en particulier de s’assurer que les conduits ne sont pas bouchés, et de vérifier l’état des verres de doublage (éventuelles casses, encrassement).

En ce qui concerne le vitrail lui-même, il s’agit d’**effectuer périodiquement un contrôle des « points sensibles »**, en liaison avec les éventuels dossiers d’étude préalable et de restauration existants. On vérifiera ainsi la progression de la corrosion, l’état des peintures, l’état de la surface interne, en particulier la présence de traces d’eau de condensation et de contaminants biologiques, ainsi que la tenue des produits de restauration (retouches, collages, zones refixées).



Le constat d'état: bilan sanitaire du vitrail



Le constat d'état vise à décrire le plus exactement possible l'état actuel de conservation d'un vitrail. Il concerne l'état physique et l'état historique du vitrail.

● L'état physique du vitrail: description de l'état de conservation du vitrail

Cette partie de l'étude préalable s'intéresse aux matériaux constitutifs du vitrail : le verre et le plomb, éléments les plus connus, mais aussi les peintures qui agrémentent les verres, les armatures qui fixent les panneaux dans l'architecture, et l'architecture elle-même, c'est-à-dire l'environnement proche de la verrière. Le constat s'attache à **relever les dégradations mécaniques et physico-chimiques**, sa finalité consistant à décrire, à localiser et à répertorier tous les éléments insolites visibles, qu'ils proviennent d'un apport extérieur (salissures, dépôts, patines, mastic, impact de projectiles) ou qu'ils soient intrinsèques au vitrail (altérations des matériaux constitutifs).



Surfaces peintes contaminées par des champignons, et dégradées par la pose d'adhésifs lors d'une ancienne consolidation.
Château de La Bâtie d'Urfé.



Perte de la lisibilité de la figure par les plombs de casse.
Baie 101, cathédrale Notre-Dame de Chartres.

● Les techniques d'examen et d'analyse

L'examen passe par l'observation minutieuse de chaque pièce de verre, plomb et peinture compris, de chaque armature, et ce sur chacune des deux faces d'un panneau. La grande particularité d'un vitrail, par rapport aux autres œuvres d'art, étant la **dualité de ses deux faces**, il faut impérativement, lors de l'étude, distinguer la face qui donne à l'intérieur de l'édifice (face interne) de la face exposée à l'extérieur (face externe).

Écaillage de la grisaille.
Baie 121, église de
Saint-Germain-L'Auxerrois,
Paris.



Principales altérations d'un vitrail

Ce sont les transformations des matériaux constitutifs les plus fréquemment rencontrées. On les classe en différentes rubriques selon la nature des phénomènes qui les engendrent.

les altérations d'ordre mécanique :

certains verres se fêlent, se brisent, se déchaussent. Les résilles de plombs s'affaissent, se déforment. Les armatures se déforment, se descellent, se rompent. Les calfeutrements se désolidarisent, tombent. La pierre se fend, éclate sous la pression de la rouille.

les altérations d'ordre physico-chimique :

le verre s'irise, se corrode par piqûres, cratères, sa surface est attaquée uniformément. Il se fendille et parfois se décompose. On observe des minéralisations, des opacifications. Les peintures s'écaillent, se décomposent, se rayent, s'effacent, se corrodent comme le verre. Les métaux s'oxydent. La pierre se délite, suinte.

les altérations de surface :

les vitraux sont recouverts de dépôts d'origine externe : fumées, poussières, fientes de pigeons, projections de peinture ou de chaux, graffitis.

les altérations d'ordre biologique :

présence de micro-organismes : algues, champignons, lichens, bactéries.

les altérations d'ordre esthétique résultant d'interventions humaines :

plombs de casse, remplacement et déplacement de pièces voire de panneaux entiers, rupture de la coloration des compositions, présence de patines.



Corrosion des verres en face interne, vue en transparence. Vitrail de l'église de l'Immaculée Conception de Montaudin (Mayenne).



Rupture de plomb. Vitrail de l'église de l'Immaculée Conception de Montaudin (Mayenne).



Corrosion des verres en face interne. Vitrail de l'église de l'Immaculée Conception de Montaudin (Mayenne).

La dimension historique ou la critique d'authenticité

La critique d'authenticité, bien que liée à l'identification du vitrail, se rattache directement au bilan sanitaire de l'étude préalable, dans la mesure où elle considère l'état de conservation des éléments constitutifs d'un vitrail (verre, plomb, peinture et ferrures).

Elle consiste en une **analyse minutieuse ayant pour objectif la datation précise du vitrail**. Elle repose sur l'étude des méthodes de fabrication (coupe et coloration du verre, tracé du plomb, organisation des compositions), du style pictural (techniques employées, mode d'application ou d'utilisation), de l'iconographie (code et symboles culturels et religieux), et de l'état sanitaire des verres.

La critique d'authenticité permet ainsi de **distinguer les parties anciennes des parties restaurées, et de mettre en valeur les parties originales au sein des transformations**.



Les nettoyages



Le nettoyage est une étape importante dans la restauration d'un vitrail. Il peut être déterminant dans la conservation de l'œuvre à court ou à long terme. La persistance de certains produits à la surface du verre (dépôts et produits d'altération) peut se révéler néfaste, et un traitement inadapté devenir fortement nuisible, voire destructeur pour les matériaux constitutifs. L'action de nettoyage a longtemps été sous-estimée par l'adoption de pratiques systématiques et inadaptées (immersion des panneaux dans des bains d'eau tiède par exemple).

S'agissant d'une action irréversible, tant pour les éléments éliminés que pour ceux à préserver, le nettoyage ne doit en aucun cas mettre l'œuvre en péril. Il a pour principale fonction d'alléger la surface de l'œuvre des substances nuisibles à sa conservation et à sa lisibilité.

Les moyens d'action dont le restaurateur dispose peuvent être mécaniques ou chimiques, et sont souvent combinés :

▶ Le nettoyage mécanique

Les méthodes de nettoyage mécanique vont des outils les plus doux aux plus abrasifs.

Selon l'état de conservation de la grisaille, le dépoussiérage des panneaux peut-être effectué avec un **pinceau à poils plus ou moins souples**.

Certains outils, tels que le **scalpel** ou la **microfibre de verre**, peuvent servir à affiner les couches de certains dépôts durs, mais ne doivent en aucun cas atteindre la surface saine du verre. Pour **contrôler l'innocuité du procédé**, la manipulation doit être réalisée sous une loupe ou un binoculaire.



Nettoyage par compresses. Vitrail du Château de Beauregard (Essonne), chapelle privée.

Il était question à une époque d'utiliser des méthodes abrasives, comme la micro-propulsion de particules (micro-billes de verre, noyaux de pêches broyées...). Après avoir été testées, ces techniques se sont avérées dangereuses, car elles provoquaient des micro-fissures, des éclats ou des rayures qui, si elles n'étaient pas toujours visibles à l'œil nu, constituaient des zones de développement d'altérations. Les études réalisées sur le nettoyage par ultra-sons ou par laser ont conduit au même constat.

► Le nettoyage chimique

Les matières sont classées selon leur **solubilité dans un solvant donné**. Parmi les produits d'altération du verre, les silicates sont classés comme insolubles, les carbonates et sulfates de calcium comme peu solubles.

La connaissance du comportement de ces matériaux dans un solvant à une température et à un pH donnés, est nécessaire pour déterminer les produits de nettoyage adéquats.

Selon la nature des dépôts et substances que l'on souhaite éliminer, il est possible de faire son choix dans une **large gamme de produits d'intervention** :

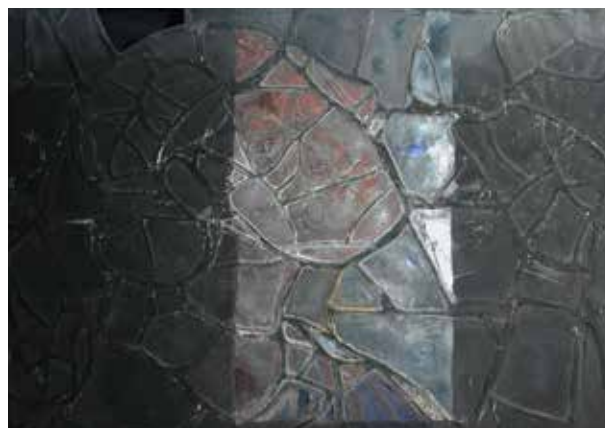
- **l'eau**, utilisée pour le nettoyage, seule ou associée à d'autres produits (solvant ou complexant par exemple), et de préférence sous sa forme déminéralisée, est un solvant très efficace.

- **les solvants organiques** sont appliqués pour dissoudre les dépôts organiques. Ils appartiennent à différentes familles chimiques, tels que les alcools, les esters, les cétones ou les hydrocarbures, chacun d'entre eux présentant des spécificités particulières en matière de dissolution des substances.

- **les complexants** sont utilisés contre les produits de corrosion des métaux (capacité à complexer certains ions métalliques). Leur action est plus ou moins sélective. Certains complexants ne seront donc pas utilisés sur les surfaces peintes en raison du risque d'endommager les peintures qui contiennent des oxydes métalliques. Les produits complexants utilisés en restauration, sont toujours de pH neutre.

- **pour éradiquer les micro-organismes**, on emploie, après un nettoyage de la surface du verre, des biocides à base d'ammoniums quaternaires qui font éclater les cellules par variation de la pression osmotique.

L'**établissement indispensable d'un protocole** permet d'évaluer le temps nécessaire à ces opérations, qui, lors de la présence d'une grisaille fragile par exemple, peuvent constituer une étape très longue dans le temps d'un chantier de restauration. Il revient chaque fois au restaurateur de définir ses propres limites dans sa capacité à intervenir ou non. Joindre au dossier de restauration une cartographie des méthodes utilisées sur chacune des faces des verres, permet de surveiller leur éventuel impact sur les surfaces traitées.



Ouverture sur un panneau d'une fenêtre test de nettoyage en face interne. Vue en réflexion. Baie 101, visage de Gaufridus, cathédrale Notre-Dame de Chartres.



Panneau test de nettoyage en face interne, détail, vu en lumière réfléchi. Baie 101, visage de Gaufridus, cathédrale Notre-Dame de Chartres.



Même panneau, vu en transparence. Baie 101, visage de Gaufridus, cathédrale Notre-Dame de Chartres.

Les interventions esthétiques



Exemple de grisaille remplacée par de la corrosion : le visage perd peu à peu sa lisibilité et la trace des peintures originales. Baie 121, église Saint-Germain-l'Auxerrois, Paris.



Complément de pièces : travail de peinture à l'atelier.

L'approche actuelle des questions de mise en valeur

Pendant longtemps, la restauration des vitraux a été confiée à des artistes peintres-verriers.

Comme dans d'autres disciplines, toutes les opérations destinées à rendre le vitrail « plus beau », en particulier le traitement des lacunes, relevaient de la compétence d'artistes ou de techniciens formés à ce métier d'art. Le nombre et la nature des interventions étaient fixés par le peintre, dont la sensibilité constituait le principal critère d'intervention.

Bien des restaurations ont permis de sauver des verrières anciennes, même si certaines pratiques jugées aujourd'hui « déontologiquement incorrectes », ou carrément dangereuses, ont été largement mises en œuvre jusqu'à notre époque. On citera parmi celles-ci l'élimination aléatoire de pièces de restauration, ou de pièces originales jugées disgracieuses, le nettoyage abusif, censé rendre la transparence, la pose de patines à froid, ou encore la restitution de peintures et la recuisson de pièces anciennes.

Aujourd'hui, les pratiques tendent à se rationaliser. Conformément au code déontologique commun à toutes les spécialités, et énoncé dans la Charte de Venise, **les interventions esthétiques doivent être minimales, solidement argumentées, parfaitement documentées, et dans la mesure du possible, réversibles.**

Le respect de l'intégrité de l'œuvre étant privilégié, toute modification pour des raisons de goût, de mode ou de commodité, tout embellissement par ajout ou retrait, toute réinvention de parties aujourd'hui disparues sont généralement évités.

Les traitements esthétiques concernent principalement quatre grandes familles de perturbations :

1. **Les perturbations générales de composition :** déplacements ou interversions de panneaux, pose inversée, transformation majeure du vitrail (par exemple panneau d'église transformé en panneau d'antiquaire).
2. **Les perturbations provoquées par des lacunes :** des pièces de verres, des fragments de panneaux ou des panneaux entiers manquent.
3. **Les multiples perturbations dues aux anciennes restaurations :** colorations des verres gênantes, peintures désaccordées dans leur dessin ou leur valeur, transformations des conduites de plombs, ajouts de plombs de casse servant à assembler deux pièces brisées, patines disgracieuses, ou encore déplacement de pièces.
4. **Les perturbations liées à l'état de conservation des verres et des peintures : effets sur la lisibilité**

Le vitrail possède la particularité d'être normalement translucide. Lorsque cette translucidité est perdue, les effets de vibration lumineuse et les contrastes d'opacité, créés par les aplats de peintures, n'apparaissent plus ou très mal. La perception visuelle s'en trouve modifiée et ne permet plus une lecture distincte des formes. Dans des cas extrêmes d'obscurcissement, on se trouve dans l'incapacité d'identifier l'iconographie du vitrail.

Le problème de la lisibilité des peintures se pose souvent d'une manière délicate, même en cas de conservation de la translucidité. Lorsque la corrosion du verre se développe fortement en face interne, ou lorsque les peintures s'altèrent par pulvéulence, écaillage ou piqûres, **il arrive que le dessin soit progressivement perdu, et ce de manière irréversible.**

Le travail du restaurateur est alors double : il doit, d'une part documenter les traces des matières picturales encore visibles sur le verre, et d'autre part envisager une éventuelle retouche dont les effets amélioreront la lisibilité des dessins.

Les traitements esthétiques soulèvent donc des problématiques multiples et complexes auxquelles le restaurateur répond de manière sans doute moins rigoureuse et scientifique qu'il ne le fait à d'autres étapes de son travail. **Les interventions esthétiques se situent en effet à une fragile frontière entre la sensibilité personnelle, et la neutralité et l'innocuité recommandées par la déontologie de la discipline.** Cette difficulté demeurera sans doute immuable dans l'avenir. Il est impérativement nécessaire d'élaborer une documentation rigoureuse, car elle garantit aux générations futures une transparence sur l'authenticité des œuvres, autant que l'explication et la justification des modifications qui leur ont été apportées.



Détail d'un panneau avant restauration.
Musée national de la Renaissance, Écouen.



Même détail après restauration, suppression des plombs de casse, collage des verres brisés par résine.
Musée national de la Renaissance, Écouen.



Le panneau après restauration.
Musée national de la Renaissance, Écouen.